Baustelle im Kopf

Nicht viele Max-Planck-Institute können von sich behaupten, einen Fitnessraum zu besitzen – und das auch noch für Forschungszwecke. **Arno Villringer** geht es am **Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften** in Leipzig aber nicht um das Stählen von Muskeln. Mit den Übungsgeräten will er untersuchen, wie das Training von Bewegungsabläufen das Gehirn verändert.

TEXT **FELICITAS WITTE**

Eigentlich sieht die Wippe ganz stabil aus. Aber wer darauf zum ersten Mal balanciert, verliert innerhalb von Sekunden das Gleichgewicht. Patrick Ragert, seit 2008 Mitarbeiter in der Abteilung Neurologie am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, lädt die Besucherin zu einem Balanceakt auf der Wippe ein. Nach wenigen Sekunden muss sie absteigen und greift dankbar nach den Händen des Wissenschaftlers. „Das geht am Anfang jedem so, aber unser Gehirn lernt schnell“, sagt Ragert. In den Studien des Neurobiologen können sich Probanden nach längerem Training immerhin fast eine halbe Minute auf dem Gerät halten.

Arno Villringer ist der Direktor der Neurologie-Abteilung des Leipziger Instituts. Sein Spezialgebiet ist die Anpassungsfähigkeit der grauen Substanz des menschlichen Gehirns – also der Bereiche des Nervengewebes, in denen die Zellkörper liegen. Lange Zeit ging man davon aus, dass im Gehirn nur während der Entwicklung im Mutterleib neue Verbindungen zwischen Nervenzellen entstehen und neue Nervenzellen gebildet werden. Tatsächlich wird das Gehirn aber zeitlebens umgebaut. Neuronale Plastizität ist der Fachbegriff für diese Fähigkeit unseres Denkorgans.

EINE HARDWARE, DIE SICH AN DEN NUTZER ANPASST

Dabei verändern sich besonders stark jene Gehirnregionen, die intensiv genutzt werden. Schon Anfang der 1990er-Jahre haben kalifornische Wissenschaftler bei Affen nachgewiesen, dass Gehirnareale für Sinnesreize aus den Fingern größer werden, wenn die Tiere zuvor intensiv Gegenstände ertasten mussten. Auch beim Menschen vergrößern sich durch wiederholtes Bewegen der Finger die zugehörigen Hirnbereiche. „Das ist, als ob sich die Hardware eines Computers an die Wünsche seines Nutzers anpasst“, erklärt Villringer. „Bei einem Journalisten würde sich zum Beispiel die Taste E der Tastatur vergrößern, da dieser Buchstabe im Deutschen sehr oft vorkommt. Bei einem Grafiker würden dagegen Bildschirm und Maus wachsen, weil er beides oft verwendet.“

Das Gehirn wächst also mit seinen Aufgaben – zumindest Teile davon. Villringer und sein Team konzentrieren sich darauf, wie es auf das Training von Bewegungsabläufen reagiert. Dafür unterziehen sie Freiwillige Lerntests, in denen diese zwischen mehreren Objekten auf einem Computerbildschirm hin und her navigieren müssen, ohne über das Ziel hinauszuschießen. Elektroden an den Armen zeichnen die Aktivität der Finger- und Handmuskulatur auf.

Bereits sechs halbstündige Trainingseinheiten verbessern die Motorik der Probanden deutlich. „Als Nächstes haben wir uns gefragt, ob sich diese Testergebnisse weiter steigern lassen, wenn wir das Gehirn zusätzlich stimulieren“, sagt Ragert. Mit der sogenannten transkraniellen Magnetstimulation kann der Forscher Nervenzellen in bestimmten

Balanceakt: Wiederholtes Training auf der Wippe schult den Gleichgewichtssinn – und verändert die Gehirnstruktur.

Foto: Sven Döring

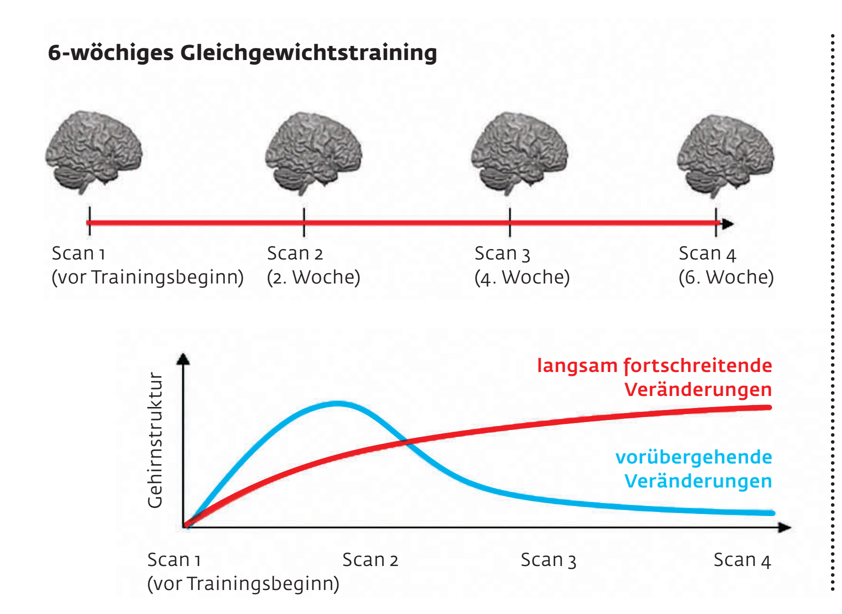

16030 STABILITY PLATFORM
Lafayette Instrument Co
POWER
EVENT MARK
REMOTE INITIATE
CONTROL
COMPUTER

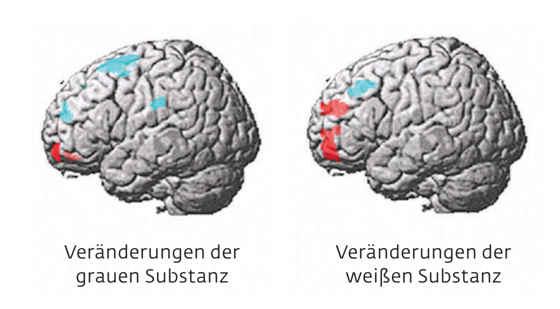
Gehirnbereichen vor und nach dem Training aktivieren und dadurch die Hirnaktivität messen. Dazu hält er das an einen Duschschlauch erinnernde Stimulationsgerät über den Kopf der Probanden und reizt so Zellen in der motorischen Hirnrinde – einer Region, die Bewegungsbefehle an die Hand- und Fingermuskulatur weitergibt. „Die meisten Menschen spüren das kaum.“

Und tatsächlich: Durch eine Stimulation dieses Hirnareals von außen mittels Gleichstromstimulation absolvieren die Versuchsteilnehmer den Test noch schneller und genauer. Die Hirnstimulation beeinflusst also das Lernen von Bewegungsabläufen. Aber ändert sich dadurch auch die Verdrahtung des Gehirns?

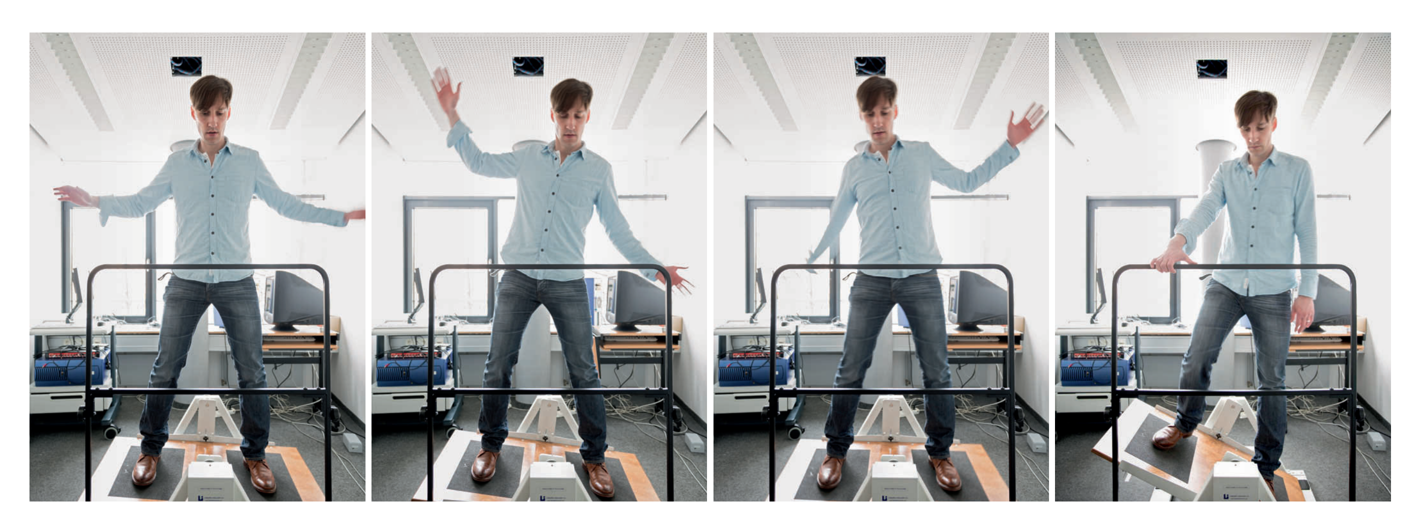
In einem weiteren Experiment sollten die Probanden eine schwer zu koordinierende Bewegung lernen: nämlich den Daumen abzuspreizen und gleichzeitig den Deltamuskel am Oberarm anzuspannen. Das Ganze dreimal pro Minute, 40 Minuten lang. Aufnahmen, die danach im Kernspintomografen gemacht wurden, zeigten, dass die beteiligten Hirnbereiche in der motorischen Hirnrinde durch das Lernen stärker miteinander kommunizieren.

Aus früheren Versuchen ist bekannt, dass die lernbedingte Zunahme an grauer Substanz mit einer bestimmten Messgröße des Kernspins korreliert, der sogenannten T1-Zeit: Je kürzer die T1-





Wacklig auf der Wippe. Unten: Anfangs schafft es der Proband – hier Patrick Ragert – nur wenige Sekunden lang, das Gleichgewicht zu halten. Sechs Wochen später klappt es rund 20 Sekunden länger. Oben: Das Training verändert sowohl Gehirnbereiche, in denen Nervenzellkörper liegen (graue Substanz), als auch Regionen, in denen Nervenfasern verlaufen (weiße Substanz). Links: Während des Experiments hatten die Forscher im Abstand von jeweils zwei Wochen Aufnahmen des Gehirns gemacht und dabei sowohl vorübergehende als auch fortschreitende Veränderungen beobachtet.



Fotos und Grafik: MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften (oben), Sven Döring (4)



Über transkranielle Magnetstimulation lassen sich die Nervenzellen in der motorischen Hirnrinde aktivieren. Durch dieses Verfahren können die Forscher lernbedingte Hirnveränderungen direkt messen.

Zeit, desto mehr graue Substanz. „Aus unseren Messungen der T1-Zeit können wir schließen, dass mehr graue Substanz entsteht“, sagt Villringer. Demnach beginnt das Gehirn sehr schnell mit der Umorganisation. „Schon nach knapp einer Stunde tauchten die ersten Veränderungen der Hirnstruktur auf, wir haben dem Hirn förmlich beim Lernen zugesehen.“

SCHON EINE STUNDE TRAINING VERÄNDERT DIE HIRNSTRUKTUR

Leider können die Forscher im Kernspin nicht erkennen, wie sich das Gehirn im Detail verändert. Dazu müsste die Auflösung des Kernspintomografen etwa eine Million Mal größer sein. Sie wissen also nur, dass mehr graue Substanz entsteht, aber nicht, was genau dabei mit einzelnen Hirnzellen passiert. Unwahrscheinlich ist, dass neue Nervenzellen gebildet werden, denn das geschieht nach gegenwärtigem Wissensstand im erwachsenen Gehirn nur noch in ganz wenigen Regionen: im Hippocampus und im Riechkolben. Dass die graue Substanz trotzdem zunimmt, erklärt Villringer mit der Bildung neuer Verbindungen zwischen Nervenzellen, der sogenannten Synapsen. Außerdem werden offenbar auch die Zellkörper der Neuronen größer.

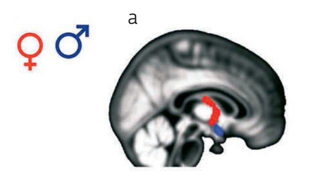
Solche Veränderungen finden bei verschiedenen Lernformen statt und müssten demnach auch in anderen Hirnregionen nachweisbar sein. Deshalb das Experiment mit der Wippe. „Fürs Balancieren braucht man zum einen die Fußmuskulatur, zum anderen den Gleichgewichtssinn. Die Frage ist, ob das Training auch die dafür zuständigen Regionen im Gehirn verändert, die präfrontale und die temporale Großhirnrinde.“

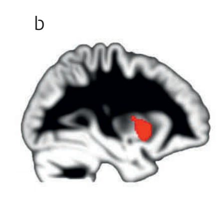
Das Gleichgewichtstraining hatte Erfolg: Die Teilnehmer des Trainings konnten länger auf der Wippe balancieren, nach sechs Wochen einmal wöchentlichen Trainings durchschnittlich 20 Sekunden. Ein Lernerfolg, der sich auch im Kernspin widerspiegelt: „Im Gleichgewichtsgebiet beginnt die graue Substanz schon nach einer Stunde zu wachsen“, sagt Villringer.

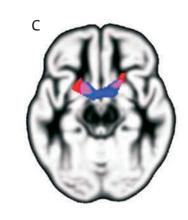
Ähnliche Trainingsprogramme könnten auch Parkinson-Patienten helfen, hofft der Neurologe. Bei dieser fortschreitenden Erkrankung gehen Nervenzellen in einer Gehirnregion zugrunde, die für die Planung und Ausführung von Bewegungen benötigt wird. Die Folge sind Muskelversteifung und Zittern. Außerdem können die Betroffenen ihren Körper nicht mehr stabil aufrecht halten und drohen ständig das Gleichgewicht zu verlieren.

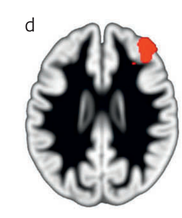
Villringer möchte daher mit Balance-übungen auf der Wippe das Gleichgewichtsgefühl der Patienten stärken. In ihren Studien sichern die Forscher die im Schnitt 64 Jahre alten Patienten zur Sicherheit mit Haltegurten für den

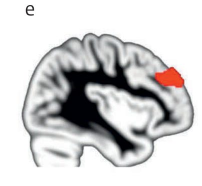
Foto: Sven Döring











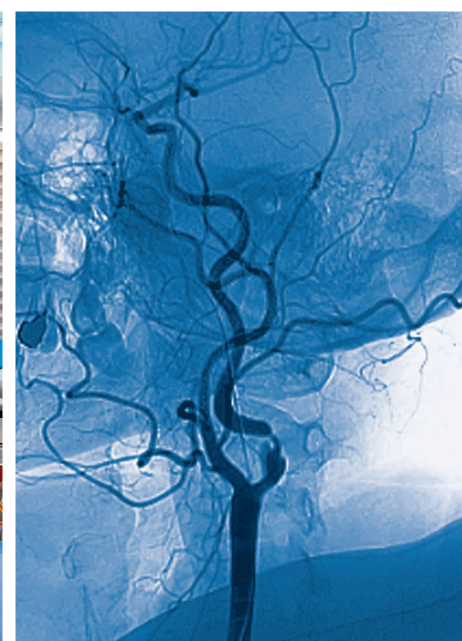
Gewichtsprobleme zeigen sich auch im Gehirn, vor allem in Regionen, die zum Belohnungssystem gehören. Dabei gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede: Bei beiden Geschlechtern sind der posteriore mediale orbitofrontale Kortex (c), der Nucleus accumbens (c) und der Hypothalamus (a) vergrößert, bei Frauen zusätzlich Putamen (b) und Fornix (a). Außerdem finden sich bei Frauen Gebiete mit verringerter Nervenzelldichte im rechts-lateralen präfrontalen Kortex (d, e).

Fall, dass die Wippe sie aus dem Gleichgewicht bringt. Können die Patienten das Gleichgewicht zu Beginn nur acht Sekunden halten, schaffen sie es nach sechs Wochen etwa 13 Sekunden lang. Am Ende des Trainings balancieren die Patienten sogar länger als gesunde, untrainierte Altersgenossen. Auch im Gehirn der Parkinson-Patienten zeigt sich im Kernspin der schon zuvor beobachtete Zuwachs an grauer Substanz. „Unser Balancetraining könnte ein wichtiger Baustein für die Behandlung der Parkinson-Symptome werden“, fasst der Neurologe zusammen.

Auch Menschen mit Gewichtsproblemen könnten von körperlichen Übungen auf bislang ungeahnte Weise profitieren. Denn Bewegung verbrennt nicht nur Kalorien und fördert so den Gewichtsverlust, sie schlägt sich auch im Kopf nieder. So hat Villringer mit seinen Kollegen herausgefunden, dass bei Übergewichtigen die orbitofrontale Hirnrinde und der Nucleus accumbens größer sind – Regionen, die zum Belohnungssystem des Gehirns gehören. Je schwerer die Person, desto mehr graue Substanz findet sich in diesen Hirnbereichen. „Wer regelmäßig dem Verlangen nach Essen nachgibt, trainiert damit unbewusst sein Belohnungssystem im Gehirn“, erklärt Villringer. „Nehmen diese Menschen mithilfe von Trainingsprogrammen wieder ab, postulieren wir eine Schrumpfung der Belohnungszentren. Noch ist unklar, welche Programme dafür optimal sind und ob Sport oder Gewichtsabnahme allein hierfür relevant sind. Aber wenn es gelingt, die Umstrukturierungen in den Belohnungszentren durch Training rückgängig zu machen, wäre das vielleicht der Schlüssel zu dauerhaftem Abnehmen.“

Dem Schlaganfall zuvorkommen: Mithilfe der Angiografie können Mediziner die Blutgefäße im Körper auf einem Bildschirm sichtbar machen. So lassen sich gefährliche Verengungen frühzeitig aufspüren, so wie hier an der Halsschlagader eines 56-jährigen Patienten (rechts).





Fotos: MUI/Lackner (links), SPL-Agentur Focus (rechts); Grafik: MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften



Arno Villringer (rechts) und sein Mitarbeiter Patrick Ragert besprechen die Ergebnisse ihrer Tests. Sie möchten praktische Übungen und transkranielle Magnetstimulation nutzen, um Schlaganfallpatienten zu helfen.

Seine Fähigkeit zur Anpassung beweist das Gehirn auch nach einem Schlaganfall. Bei einem solchen Hirninfarkt ist ein Blutgefäß durch ein Blutgerinnsel blockiert, und Teile des Gehirns werden nicht mehr ausreichend durchblutet. Als Folge sterben die Zellen in den betroffenen Gebieten ab. Die dadurch ausgelösten Ausfallerscheinungen wie Lähmungen oder Sprachverlust können Neurologen durch Physiotherapie und gezieltes Sprachtraining zumindest teilweise rückgängig machen.

Dabei übernehmen benachbarte Gebiete oder spiegelbildlich in der anderen Hirnhälfte liegende Gebiete Aufgaben der abgestorbenen Bereiche. So hat ein Schlaganfall im Bereich der frontalen Hirnrinde, der die Armmuskulatur kontrolliert, meist eine Lähmung des Arms zur Folge. Im Zuge der Genesung können aus dem danebenliegenden Areal, das eigentlich Bewegungssignale an die Beine schickt, Nervenfortsätze aussprossen und sich mit den ehemaligen Partnern der abgestorbenen Nervenzellen vernetzen. Ein gelähmter Arm kann so mit der Zeit einen Teil seiner Beweglichkeit zurückerhalten.

DAS JUNGE GEHIRN REGENERIERT SICH SCHNELLER

Anders sieht es aus, wenn ein Gebiet schon einmal von einem Schlaganfall betroffen war. Die Regenerationsfähigkeit ist dann deutlich geringer. Auch können sich nicht alle Regionen so gut regenerieren wie die Hirnrinde. Die Pyramidenbahn zum Beispiel – ein Teil des Bewegungssystems, das von der Hirnrinde über den Hirnstamm bis ins Rückenmark verläuft – kann starke Schäden kaum rückgängig machen. Das Alter beeinflusst die Regeneration ebenfalls. „Das ist wie bei der Wundheilung: Bei älteren Menschen heilen Wunden langsamer als bei jüngeren."

Villringer möchte dem Gehirn dabei helfen, die Schäden durch den Schlaganfall zu kompensieren. Dafür setzt er wieder auf transkranielle Magnetstimulation und praktische Übungen. Seine Studien haben ergeben, dass sich damit nach einem Schlaganfall die Bewegungsfähigkeit und Wortfindungsstörungen verbessern lassen. Villringer zufolge unterstützt das Training den Umbau der vom Schlaganfall betroffenen Hirnareale.

Noch wirkungsvoller, als nach einem Schlaganfall die Schäden zu reparieren, ist es natürlich, den Infarkt selbst zu verhindern. Eine wichtige Rolle spielt dafür die Kontrolle des Blutdrucks, denn Blut-

Foto: Sven Döring



Kickern in der Kaffeepause: Bei Arno Villringer und Patrick Ragert geht es nicht nur bei der Arbeit um motorische Fähigkeiten. Und genau wie bei ihren Probanden auf der Wippe zahlt sich Training auch beim Tischfußball aus. Diesmal geht der Punkt an den Chef.

hochdruck ist einer der Hauptrisikofaktoren für Schlaganfall. Villringer vermutet, dass auch Bluthochdruck seine Spuren im Gehirn hinterlässt, und zwar in der Amygdala. Dieses kleine, auch als Mandelkern bezeichnete Gebiet der Hirnrinde ist an der Ausbildung von Gefühlen wie Angst und Stress beteiligt.

WELLEN AUF DEM BILDSCHIRM SENKEN DEN BLUTDRUCK

Villringers Team vermutet, dass die Amygdala von Menschen mit stressbedingtem Bluthochdruck zu stark auf Stress reagiert und in der Folgezeit schrumpft. Diese Erkenntnis möchten die Wissenschaftler therapeutisch nutzen und ein Trainingsprogramm entwickeln, das die Amygdala im Anfangsstadium weniger stressempfindlich macht und später ihre Erholung fördert. Wie das gehen könnte, zeigen Experimente an Patienten mit stressbedingtem Bluthochdruck. Wenn diese Patienten an etwas Schönes und Entspannendes denken, erzeugt ihr Gehirn besondere Hirnwellen. Allein die Betrachtung solcher „Entspannungswellen“ auf einem Computerbildschirm lässt den Blutdruck der Patienten sinken. Untersuchungen im Kernspin sollen nun klären, ob dabei auch die Amygdala größer wird.

Pläne mancher Wissenschaftler, dem Gehirn mit Medikamenten auf die Sprünge zu helfen, sind laut Villringer ebenfalls vielversprechend, aber er mahnt zur Geduld: „Das sind interessante Ansätze, aber es wird noch dauern, bis daraus Therapien für Patienten entstehen.“ Beispielsweise fehlen klare Kriterien, für welche Patienten solche Therapien geeignet sind oder welche Nebenwirkungen auftreten können. „Wir wissen einfach noch nicht genug darüber, wie das Gehirn aussieht, wenn es sich wieder in den gesunden Zustand umwandelt.“ ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Beim Lernen neuer Bewegungsabläufe verändert sich nicht nur die Funktionsweise des Gehirns, sondern auch seine Struktur.**
- **Hirnstimulation von außen erleichtert das Lernen von Bewegungsabläufen. Davon könnten Parkinson- und Schlaganfall-Patienten profitieren.**
- **Übergewicht lässt die Belohnungssysteme in der orbitofrontalen Hirnrinde und im Nucleus accumbens wachsen. Trainingsprogramme könnten diese Veränderungen rückgängig machen.**
- **Bei Menschen mit stressbedingtem Bluthochdruck reagiert die Amygdala zu stark und verkleinert sich anschließend. Entspannungstraining soll diese Vorgänge rückgängig machen.**

GLOSSAR

Kernspin: Die Kernspintomografie, auch Magnetresonanztomografie genannt, ist ein medizinisches Verfahren, das Gewebe und Organe sichtbar macht. Dabei werden Bilder aus verschiedenen Ebenen erzeugt. Das Verfahren arbeitet mit starken Magnetfeldern, in denen sich die Wasserstoffatome in den Geweben einheitlich orientieren. Ein weiteres, hochfrequentes Magnetfeld richtet die Atome kurzzeitig neu aus. Je nach Gewebeart fallen sie danach wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurück und setzen dabei einen elektromagnetischen Impuls frei. Dieser hängt von der Zusammensetzung des Gewebes ab und kann vom Gerät gemessen werden.

Transkraniale Magnetstimulation: Methode der Hirnstimulation. Dabei erzeugt ein starker Stromfluss in einer Spule ein Magnetfeld, das durch Induktion Ströme in Nervenfasern des Gehirns hervorrufen kann. Das erzeugte Magnetfeld hängt von der Form der verwendeten Spule sowie ihrer Position und Orientierung ab. Damit beeinflusst es auch, welche Gehirnregionen stimuliert werden. Diese Technik kann unter anderem zur Behandlung von Parkinson, Depression oder Schizophrenie eingesetzt werden.

T1-Zeit: Methode der Kernspintomografie, mit der der Aufbau von Gewebe besonders kontrastreich dargestellt werden kann. Im Unterschied dazu eignet sich die T2-Zeit vor allem zur Darstellung krankhafter Prozesse wie Tumore. Die T1-Zeit bezeichnet die Zeitspanne, in der die durch das Wechselmagnetfeld ausgelenkten Wasserstoffatome wieder 63 Prozent ihrer ursprünglichen Ausrichtung erreicht haben (Relaxationszeit).